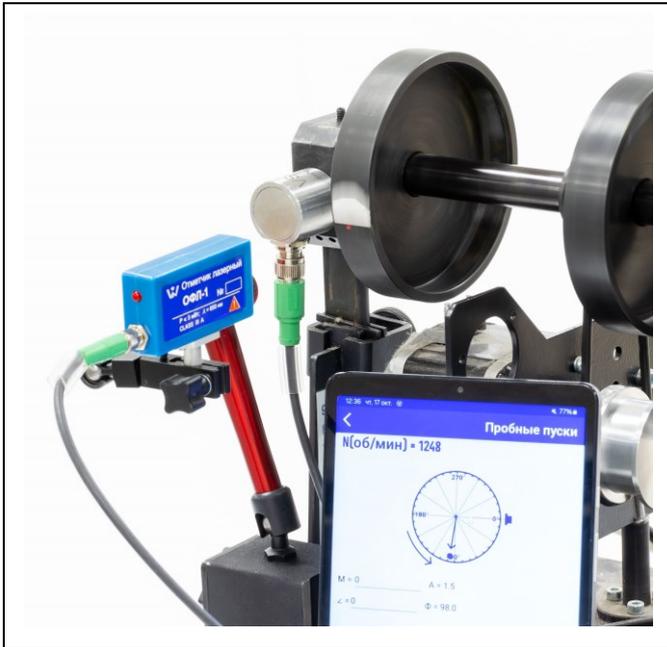


# Балансировка роторов насосов и вентиляторов в собственных опорах при помощи простых переносных приборов

ООО ПФФ Вибро-Центр



Небаланс роторов – по статистике второй по частоте появления дефект, возникающий в процессе работы вращающегося (роторного) оборудования. На первом месте по частоте возникновения дефектов такого оборудования «заслуженно» стоит износ опорных подшипников качения.

Основными причинами появления небаланса роторов электродвигателей, рабочих колес насосов и вентиляторов в процессе их эксплуатации являются:

- Механические проблемы механизмов, связанные с естественными износами и эксплуатационными повреждениями элементов конструкции роторов. Такой небаланс стационарен.
- Технологические проблемы, когда величина небаланса связана с нагрузкой механизма. Примером является появление признаков небаланса при нарушении геометрии отдельных лопаток рабочих колес насосов и вентиляторов.

- Температурные небалансы, когда происходит смещение или изгиб элементов ротора при изменении их рабочей температуры. Признаком такого небаланса является его связь с температурой.

Если износ опорных подшипников роторов является необратимой проблемой эксплуатации, поэтому дефектный подшипник практически всегда однозначно подлежит замене, то небаланс роторов механизмов достаточно часто можно устранить «на месте». Это выполняется при помощи проведения балансировки в собственных опорах, которая специалистами относится к процедурам виброналадки роторного оборудования.

В настоящее время балансировка роторов в собственных опорах, при наличии соответствующего современного оборудования, не является очень сложной и доступна персоналу с минимальной подготовкой. Функцией балансировки роторов по умолчанию обладают практически все современные приборы, используемые для вибрационной диагностики, обычно называемые анализаторами вибрационных сигналов, сокращенно вибронализаторами, и даже некоторые «функционально продвинутые» виброметры. Отдельные специализированные приборы для проведения балансировки роторов в собственных опорах промышленностью практически не выпускаются.

То, что в вибронализаторах балансировка роторов является дополнительной функцией конечно расширяет их диагностические возможности, но приводит и к отрицательным последствиям. Универсальные приборы изначально являются более сложными и дорогими, чем это нужно для проведения балансировочных работ. Также они требуют от специалиста, работающего с этими приборами, более серьезных знаний в области диагностики.

Сотрудниками фирмы Вибро-Центр была проведена работа по разработке двух приборов марки ViB-2, ViB-4 (**V**ibration and **B**alancing), основной задачей которых является проведение простых одно- и двухплоскостных балансировок роторов в собственных опорах, которые могут выполняться сотрудниками с минимальной подготовкой и даже персоналом ремонтных служб.

Функция простого встроенного анализатора вибрационных сигналов для этих приборов является вспомогательной, но технологически важной. В основном она ограничена возможностями оперативного выявления признаков наличия небалансов роторов и наиболее значимых дефектов вращающегося оборудования. Наибольшее внимание уделено функции автоматизированной оценки технического состояния опорных подшипников качения. Такая эксплуатационная направленность приборов ViB позволяет эксплуатационному персоналу эффективно выявлять и (частично) устранять два основных дефекта роторного оборудования.

Разработка приборов ViB велась на основе общей целевой функции: балансировка роторов оборудования может проводиться на месте эксплуатации персоналом без специализированной подготовки, это возможно и практически достаточно просто (точнее говоря не очень сложно). Экономическая сторона этой целевой функции не менее значима: оборудование для проведения балансировки должно быть максимально дешевым, тогда эффект от его внедрения будет более значительным.

Примечание 1, касающееся практического результата от проведения балансировки роторов «на месте». Целью балансировки роторов в собственных опорах без разборки механизма является снижение общего уровня вибрации до допустимого уровня. Результат реальной балансировки роторов в собственных опорах отличается от реальных результатов балансировки на балансировочных станках, где балансировка ведется для снижения величины остаточного небаланса ротора до заданного уровня, который, как предполагается, и вероятнее всего не приведет к превышению вибрации над нормированным значением.

Примечание 2 об эффективности проведения балансировочных работ. Не все роторы вращающихся механизмов можно успешно балансировать «на месте» при помощи переносных приборов. На основании практического опыта можно считать, что 80% роторов насосов и вентиляторов балансируются достаточно быстро и успешно. Не менее 15% процентов роторов балансируются сравнительно долго, но уровень вибрации механизма все-таки удастся снизить до необходимого уровня. Для 5% роторов процедура балансировки «на месте» при помощи переносных приборов не позволяет снизить вибрацию механизмов до нормативного уровня. Основная причина этого – персоналу нужно хорошо знать конструкцию ротора механизма и понимать особенности его работы, приведшие к появлению признаков небаланса ротора. Если ротор не удастся балансировать «на месте», то его демонтируют, и делается попытка балансировки на специализированном станке. При отрицательном результате балансировки на станке ротор необходимо ремонтировать или просто заменить.

Примечание 3, касающееся наличия практического опыта у персонала. Как и во всех других областях применения диагностических методов и приборов справедливо правило: чем больше будет у персонала практического опыта проведения балансировочных работ, тем выше будет их результативность и экономическая эффективность. Чем больше персоналом будет выполнено различных, самое главное успешных балансировочных работ, тем более оперативно и качественно эти работы будут выполняться в будущем.

Примечание 4 об области практического применения приборов ViB. Приборы серии ViB предназначены для балансировки роторных агрегатов, состоящих из двух сочлененных механизмов, мощность которых не превышает единиц МВт. Для балансировки более сложных и мощных механизмов нужны другие приборы, имеющие большую функциональную насыщенность, а диагносты, выполняющие балансировочные работы с таким оборудованием, должны хорошо знать особенности конструкции и иметь специализированную подготовку.

### **Особенности конструктивного исполнения приборов серии ViB**

На этапе разработки приборов для снижения цены поставляемого комплекта оборудования, предназначенного для проведения балансировочных работ, было использовано несколько современных технических решений. Практическая реализация этих решений позволила одновременно со снижением стоимости приборов повысить их эксплуатационную надежность, так как их работа предполагается в тяжелых условиях промышленных предприятий.

Основные конструктивные особенности приборов серии ViB:

- У приборов нет экрана и клавиатуры, на корпусе отсутствует даже кнопка включения. Управление всеми функциями обработки вибрационных сигналов и расчет оптимальных величин балансировочных грузов производится при помощи стандартного смартфона. Обмен информацией между прибором серии ViB и смартфоном осуществляется при помощи функций беспроводного интерфейса Bluetooth.
- Все приборы оснащены встроенным в корпус датчиком вибрации, который позволяет проводить одно- и двухплоскостную балансировку. Для проведения «классической» двухплоскостной балансировки в более сложном приборе марки ViB-4, наряду со встроенным, дополнительно используются два выносных датчика вибрации.
- Для определения углового положения «тяжелой точки» балансируемого ротора используется лазерный отметчик фазы, устанавливаемый при помощи универсальной магнитной стойки. Сигнальный кабель от отметчика подключается к прибору при помощи разъема на корпусе.
- Для расширения возможностей приборов в них реализована автоматизированная функция оценки технического состояния подшипников качения. В программном обеспечении прибора оперативно производятся преобразование и анализ вибрационных сигналов, на основании которых все

подшипники делятся на три категории: без дефектов, с дефектами начальной стадии, с дефектами критического уровня. Эти категории технического состояния подшипников отображаются на экране смартфона динамическими символами и цветами светофора.

- Зарядка встроенного аккумулятора приборов производится при помощи стандартных беспроводных зарядных устройств, применяемых для зарядки аккумуляторов смартфонов.
- Для повышения эксплуатационной надежности приборов серии ViB они изготавливаются в специализированных литых силиконовых корпусах.
- Приборы хранятся и транспортируются в защитных пластиковых кейсах: они обеспечивают большую защищенность оборудования, чем часто иногда используемые другими фирмами «мягкие» транспортные сумки.

Все это позволило разработать и серийно производить три простых и функционально полных переносных прибора вибрационного контроля, два из которых являются специализированными



Рис. 1. Внешний вид измерительных приборов серии ViB.

устройствами и предназначены для проведения балансировки роторов электродвигателей, рабочих колес насосов и вентиляторов в собственных опорах без разборки на месте эксплуатации на промышленных предприятиях.

Все три прибора серии ViB прошли необходимые метрологические испытания и включены в реестр средств измерений Российской Федерации, номер в ГРСИ: 92504-24.

На рисунке 1 показан внешний вид трех приборов, входящих в серию:

- ViB-1, переносной вибромметр, прибор контроля технического состояния подшипников качения, простейший анализатор вибрационных сигналов и спектров. Прибор не обладает встроенной функцией балансировки роторов так как к нему нельзя подключить отметчик положения ротора.
- ViB-2, прибор, предназначенный для проведения одноплоскостной (при определенных условиях и двухплоскостной) балансировки роторов насосов и вентиляторов в собственных опорах с функцией контроля технического состояния подшипников качения, простейший анализатор вибрационных сигналов и спектров.
- ViB-4, прибор для проведения двухплоскостной балансировки роторов в собственных опорах с функцией контроля технического состояния подшипников качения, простейший анализатор вибрационных сигналов и спектров.

На момент написания данного технического обзора стоимость виброизмерительного и балансировочного оборудования серии ViB разработки и производства фирмы Вибро-Центр была наименьшей из имеющихся на рынке всех реальных коммерческих предложений, имеющихся на отечественном рынке.

Экономическая эффективность внедрения, разработанного вибрационного и диагностического оборудования, на практике также обусловлена их практической результативностью. С, с одной стороны, за счет своевременного выявления дефектных опорных подшипников и максимального предотвращения аварийных остановов оборудования по этой причине, а также, с другой стороны, за счет восстановления работоспособности оборудования при помощи балансировочных работ «на месте», без демонтажа и замены роторов.

### **Виброизмерительный прибор марки ViB-2 для проведения балансировки роторов в собственных опорах**

Набор технических и программных средств прибора марки ViB-2 является минимально возможным, обеспечивающим проведение балансировочных работ в условиях эксплуатации.

Стандартная поставка балансировочного прибора марки ViB-2 показана на рисунке 2.

Комплект включает в себя непосредственно сам измерительный прибор, установочный магнит, беспроводное зарядное устройство с сетевым блоком питания, лазерный отметчик фазы с магнитной стойкой и сигнальным кабелем для подключения к прибору, защитный транспортный пластиковый кейс.

Программное обеспечение для смартфона, предназначенное для работы со всеми приборами серии VIB, можно скачать на нашем сайте [vibrocenter.ru](http://vibrocenter.ru) или на ресурсе RuStore.



Рис. 2. Комплект поставки технических средств балансировочного прибора марки ViB-2.

#### При помощи прибора ViB-2

##### можно:

- Проводить балансировку роторов в собственных опорах с использованием одной или двух плоскостей коррекции.
- Оперативно, в автоматическом режиме, оценивать техническое состояние подшипников качения вращающихся механизмов.
- Контролировать общее вибрационное состояние вращающегося оборудования, проводить анализ спектрального состава вибрационного сигнала.
- Регистрировать вибрационные сигналы, рассчитывать интегральные параметры,

оперативно пересылать информацию по телефонным каналам связи в систему управления обслуживанием оборудования по техническому состоянию.

#### Технические особенности прибора ViB-2

Прибор ViB-2, как и все другие приборы этой серии, оснащен встроенным датчиком вибрации, расположенном в корпусе прибора. Этот универсальный датчик всегда подключен и используется как для проведения балансировочных работ, так и для проведения диагностических измерений.



Рис. 3. Установка прибора ViB-2 при помощи магнита.

К внешнему разъему на корпусе прибора может быть подключен лазерный отметчик фазы положения ротора марки ОФЛ-1 с магнитным креплением, информация от которого используется при балансировке роторов. Отражающая метка для проведения балансировки наклеивается на роторе в удобном для установки лазерного отметчика.

Для реализации всех функциональных возможностей, необходимых для проведения балансировочных работ с роторами в собственных опорах, в приборе ViB-2 используются два отдельных измерительных канала: измерения вибрации и контроля угловой фазы ротора фазы.

Для того, чтобы измерить амплитуду первой гармоники вибрационного сигнала, являющейся признаком наличия небаланса ротора, а также определить угловую фазу положения «тяжелой точки» относительно координат ротора, оба этих сигнала, вибрации и угловой фазы ротора, должны регистрироваться синхронно. Это

является необходимым условием для проведения успешных балансировочных работ.

#### Балансировка роторов при помощи прибора ViB-2 производится следующим образом:

- Необходимо убедиться, что повышенную вибрацию вызывает именно небаланс ротора. Для этого измерьте спектр виброскорости до 1000 Гц на опорных подшипниках в вертикальном и поперечном направлении. На частоте вращения ротора (оборотная частота, 1-я гармоника) должна быть доминирующая гармоника. Амплитуда гармоник в вертикальном и поперечном направлении должна быть примерно одинакова, а амплитуды остальных гармоник должны быть намного меньше. Если эти условия не выполняются, вибрацию вызывают другие проблемы агрегата и перед балансировкой сначала необходимо отремонтировать эти проблемы агрегата.
- На вал балансируемого ротора наклеивается отражающая метка (входящая в состав поставки прибора), на которую направляется лазерный луч отметчика фазы. Отметчик при помощи кабеля подключается к разъему на верхней крышке корпуса прибора ViB-2.

- Пуск, который производится при текущем состоянии ротора, называется «нулевым».
- На ротор на доступную балансировочную плоскость (зависит от типа и конструкции механизма) помещается пробный груз и делается «первый пробный» пуск.
- В процессе каждого пуска балансируемого механизма производится измерение вибрации встроенным датчиком. При одноплоскостной балансировке роторов измерение вибрации производится на одном опорном подшипнике, при двухплоскостной балансировке измерение вибрации при каждом пуске производится на двух опорных подшипниках ротора, для чего делается последовательная перестановка датчика и проведение двух измерений.
- Расчет массы и места установки на роторе балансировочных грузов производится автоматически на основании совместной обработки в смартфоне результатов всех пусков при помощи балансировочной программы.
- Для подбора необходимой (пробной или расчетной) массы груза используются электронные весы, также входящие в состав поставки прибора ViB-2.
- Первичная обработка вибрационных сигналов с целью определения величины небаланса – расчет параметров первой гармоники вибрационного сигнала производится непосредственно в приборе ViB-2, а интегральные балансировочные расчеты и отображение необходимой информации осуществляются при помощи экрана смартфона.

При использовании только одного встроенного в прибор датчика для измерения вибрации двух подшипников, приходится последовательно переставлять прибор и делать два замера, что несколько повышает трудоемкость измерительных работ при проведении двухплоскостной балансировки роторов, но для подготовленного пользователя это не является большой проблемой.

Кроме того, использование для балансировки встроенного в прибор датчика вибрации имеет свои достоинства: благодаря расширенному частотному диапазону этого датчика в зоне низких частот удастся балансировать ротора с минимальной частотой вращения не от 600 оборотов в минуту, как это бывает при использовании в приборах стандартных внешних датчиков, а с минимальной частотой вращения ротора от 60 оборотов в минуту, а в некоторых случаях даже и с меньшей.

#### Оценка технического состояния подшипников качения:

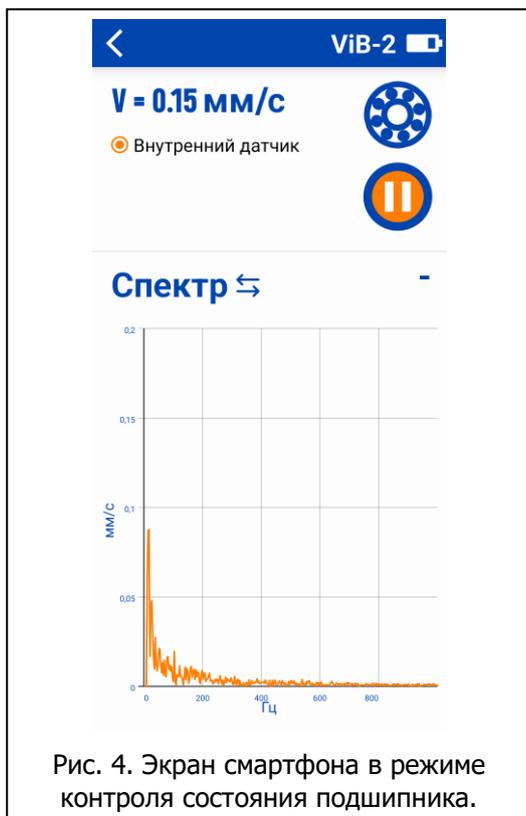


Рис. 4. Экран смартфона в режиме контроля состояния подшипника.

Наиболее часто встречающейся проблемой (дефектом) вращающегося оборудования является износ и дефекты в опорных подшипниках качения. Для повышения эффективности использования прибора ViB-2 в нем предусмотрена автоматизированная оценка технического состояния подшипников качения.

На экране смартфона состояние контролируемого подшипника отображается цветом и динамикой графического символа подшипника. По результатам автоматической диагностики контролируемый подшипник качения относится к одной из трех стандартных категорий технического состояния:

- Хорошее состояние подшипника. В этом случае символ подшипника на экране смартфона вращается плавно и быстро, сам он имеет зеленый цвет.
- Удовлетворительное состояние. В подшипнике выявлены признаки дефектов начальной и средней стадии развития, символ подшипника на экране вращается медленно и имеет желтый цвет. Такому подшипнику необходимо уделять большее внимание, может даже планировать его замену.
- Предварийное состояние оборудования по итогам выполненной диагностики. Символ подшипника на экране не вращается, мигает и имеет красный цвет. Для предотвращения аварийных остановов контролируемого оборудования этот подшипник нужно срочно заменить.

Проведение балансировки роторов с помощью прибора марки ViB-2 может быть совмещено с функцией оценки технического состояния подшипников качения. В этом случае на экране смартфона, при каждом пуске одновременно с расчетом балансировочных параметров для каждого подшипника показывается его стилизованный символ, цветом и вращением отражающий его техническое состояние.

### Режим анализатора вибрационных сигналов:

По своим диагностическим возможностям прибор ViB-2 является простым одноканальным анализатором вибрационных сигналов. Это позволяет использовать его не только поиска и устранения небаланса ротора, но и для поиска других возможных дефектов во вращающемся оборудовании.



Рис. 5. Комплект поставки балансировочного прибора ViB-2 в защитном кейсе.

Для этого при помощи прибора ViB-2 производится сбор, обработка и необходимые преобразования вибрационных сигналов, такие как:

- Регистрация временной формы вибрационного сигнала при помощи встроенного датчика.
- Представление и анализ полученных вибрационных сигналов в виде спектров в размерности виброскорости с разрешением до 400 линий.
- Расчет интегральных параметров вибрационных сигналов, таких как СКЗ виброскорости.

Этих аналитических и диагностических возможностей прибора марки ViB-2, предназначенных для сбора, обработки и анализа вибрационных сигналов, вполне достаточно для

диагностики не менее чем 80% дефектов вращающегося оборудования различных типов.

### **Прибор ViB-4 для проведения балансировки роторов в собственных опорах**

Переносной прибор ViB-4 является наиболее функционально полным виброизмерительным прибором серии ViB, предназначенным для проведения балансировочных работ «на месте». Он позволяет проводить двухплоскостную балансировку роторов в собственных опорах без перестановки датчиков вибрации по подшипникам (как это нужно делать при использовании прибора ViB-2).

При помощи прибора ViB-4 можно:

- Проводить балансировку роторов в собственных опорах с использованием одной или двух плоскостей коррекции.
- Контролировать вибрационное состояние вращающегося оборудования, рассчитывать интегральные параметры вибрации, проводить анализ спектрального состава вибрационных сигналов.
- Оперативно выявлять дефекты опорных подшипников качения, оценивать их текущее техническое состояние.
- Пересылать параметры вибрационных сигналов и результаты проведенной диагностики при помощи управляющего смартфона по телефонным каналам связи в систему управления обслуживанием оборудования по техническому состоянию.



Рис. 6. Балансировочный прибор марки ViB-4.

### Технические особенности прибора ViB-4

Для реализации заявленных функциональных возможностей проведения балансировочных и диагностических работ в приборе ViB-4 технически реализованы и используются четыре синхронных работающих измерительных канала:

К первому измерительному каналу прибора постоянно подключен встроенный интегральный датчик вибрации универсального назначения. Этот датчик в большей степени используется при проведении различных диагностических работ.

Ко второму и третьему измерительным каналам прибора марки ViB-4 при помощи внешних разъемов и сигнальных кабелей подключаются два выносных датчика контроля вибрации опорных подшипников марки VS-2. Для удобства практического использования при проведении балансировочных работ в корпуса этих датчиков встроены постоянные магниты.

Четвертый измерительный канал прибора ViB-4 предназначен для подключения лазерного отметчика углового положения ротора марки ОФЛ-1, информация от которого используется при балансировке для определения углового положения «тяжелой» точки ротора.



Рис. 7. Комплект поставки балансировочного прибора ViB-4.

Стандартная поставка балансировочного прибора марки ViB-4 показана на рисунке 7. Она включает в себя сам измерительный прибор марки ViB-4, установочный магнит, беспроводное зарядное устройство с сетевым блоком питания, лазерный отметчик фазы ОФЛ-1 с магнитной стойкой и сигнальным кабелем для подключения к внешнему разъему прибора.

В комплект поставки прибора марки ViB-4, дополнительно к оборудованию, входящему в комплект поставки прибора ViB-2, включены два выносных датчика контроля вибрации со встроенными магнитами марки VS-2 и два

сигнальных кабеля для их подключения.

Электронные весы для контроля массы балансировочных грузов и комплект отражающих меток для наклейки на ротор, предназначенные для контроля угловой фазы ротора, также входят в комплект поставки прибора.

Управление всеми функциями работы ViB-4, как и других виброизмерительных приборов данной серии, осуществляется со смартфона, с которым прибор информационно интегрируется по стандартному беспроводному каналу связи Bluetooth.

Проведение балансировки роторов в собственных опорах при помощи прибора ViB-4 осуществляется следующим образом:

- Контроль, что вибрацию вызывает именно небаланс ротора (как описано для прибора ViB-2).
- На вал балансируемого ротора наклеивается отражающая метка, на которую направляется лазерный луч отметчика фазы.
- На двух опорных подшипниках балансируемого ротора при помощи встроенных магнитов устанавливаются датчики вибрации.
- Производится регистрация сигналов «нулевого» пуска и пробных, производимых после установки пробных грузов.
- Расчет массы и места установки балансировочных грузов производится стандартным образом на основе анализа результатов нескольких пробных пусков.
- Для подбора массы груза используются электронные весы, входящие в состав поставки прибора.

Обработка сигналов от вибрационных датчиков и отметчика фазы производится микропроцессором прибора, а управление балансировкой и отображение первичной и расчетной информации осуществляется при помощи экрана смартфона.

### **Прибор ViB-1 – прибор оценки технического состояния подшипников качения, компактный виброметр, анализатор вибрационных сигналов начального уровня**

Завершив разработку балансировочных приборов ViB-2 и ViB-4, было принято решение производить самую простейшую версию прибора из этой серии под маркой ViB-1. В этом приборе только один измерительный канал, который измеряет и обрабатывает сигнал от встроенного в корпус датчика вибрации. Все внешние датчики в этом приборе отсутствуют.

Так как в приборе марки ViB-1 нет лазерного отметчика фазы, то он функционально не позволяет проводить балансировку роторов в собственных опорах. Все остальные функции вибрационного контроля и анализа вибрационных сигналов в нем сохранены.

Технологически прибор ViB-1 позиционируется на рынке приборов измерения вибрации как переносной виброметр с расширенным функциональным применением.

В комплект поставки входят измерительный прибор ViB-1, установочный магнит и беспроводное зарядное устройство.

При помощи встроенных функций прибора ViB-1 можно:



Рис. 8. Комплект поставки прибора марки ViB-1 в транспортном кейсе.

- Регистрировать вибрационные сигналы, рассчитывать их интегральные параметры, проводить преобразования и анализ спектрального состава сигналов.
- На основании рассчитанных интегральных параметров вибрационных сигналов контролировать общее техническое состояние вращающегося оборудования различных типов.
- В автоматическом режиме оперативно оценивать техническое состояние подшипников качения вращающихся механизмов, ранжируя их на три категории качества.
- Просматривать информацию на экране смартфона и пересылать ее по телефонному каналу связи в систему управления эксплуатацией оборудования по техническому состоянию.

#### Технические особенности прибора ViB-1.

Управление всеми функциями работы прибора ViB-1 осуществляется со стандартного смартфона, с которым прибор интегрируется по беспроводному каналу связи типа Bluetooth.

Питание встроенной электроники прибора ViB-1 осуществляется от встроенного аккумулятора, обеспечивающего непрерывную работу в течение не менее 14 часов. Для зарядки аккумулятора используется беспроводное зарядное устройство от сотовых телефонов.

Прибор ViB-1 поставляется в дисковом силиконовом защитном корпусе, удобном для практического использования. Отсутствие на корпусе прибора разъемов для подключения внешних датчиков и зарядного кабеля, а также любых органов управления, даже кнопки включения и отключения, повышает надежность работы прибора в сложных условиях эксплуатации.

#### Экономическая эффективность ViB-1

Прибор ViB-1 является самым простым и дешевым устройством в серии современных виброизмерительных приборов, предназначенных для контроля вибрационных параметров вращающегося оборудования, оснащенных автоматической функцией контроля подшипников качения.

Цена этого прибора (в сравнении с другими виброметрами, включенными в реестр средств измерения РФ) является самой конкурентной из всех предложений, доступных на отечественном рынке.

Если учесть, что прибор ViB-1 также является анализатором вибрационных сигналов начального уровня, то экономическая эффективность его применения несомненно будет выше, чем других приборов этого класса.